

Effectiveness of Virtual Non-Enhanced Images Acquired by Dual-Energy Computed Tomography in Evaluation of Patients with Suspected Acute Appendicitis

급성 충수염이 의심되는 환자에서 이중 에너지 전산화단층촬영을 통하여 얻은 가상 비조영증강 영상의 유용성

Taeyeong Heo, MD, Young Hwan Lee, MD*, Kwon-Ha Yoon, MD

Department of Radiology, Wonkwang University Hospital, Iksan, Korea

Purpose: To determine whether virtual non-enhanced (VNE) images derived from dual-energy computed tomography (DECT) can replace true non-enhanced (TNE) images in patients with suspected acute appendicitis.

Materials and Methods: A total of 195 patients were scanned using DECT. Two radiologists reviewed the VNE set (VNE and portal-phase images) and the TNE set (TNE and portal-phase images), 4 weeks later. Sensitivities and specificities for the diagnosis of acute appendicitis and radiation doses for each set were calculated. Image quality and artifacts in the VNE set were rated on a four point scale (1 = poor-4 = excellent). Size and attenuation of intraperitoneal calcifications were compared in each image.

Results: A total of 114 patients were diagnosed with acute appendicitis by operation. In the VNE set, sensitivity and specificity were 99.1% and 89.9% for reader 1, and 96.6% and 94.8% for reader 2, respectively. In the TNE set, the corresponding values were 96.6% and 94.9% for reader 1, and 94.8% and 92.4% for reader 2, respectively. Among the 87 calcifications detected in the TNE set, 74 calcifications were noted in the VNE set. Mean image quality and artifact were 3.61 and 3.83, respectively. Radiation dose reduction was 48% after excluding the TNE set.

Conclusion: Image quality and diagnostic performance of the VNE set were not inferior to those of the TNE set. Replacing TNE images by VNE images can reduce the radiation dose in evaluation of patients with acute appendicitis.

Index terms

Appendicitis
Radiography, Dual-Energy Scanned Projection
Radiation Dose
Tomography, X-ray Computed

Received October 18, 2015

Revised December 15, 2015

Accepted March 5, 2016

*Corresponding author: Young Hwan Lee, MD

Department of Radiology, Wonkwang University Hospital,
895 Muwang-ro, Iksan 54538, Korea.

Tel. 82-63-859-1920 Fax. 82-63-851-4749

E-mail: yjyh@wonkwang.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

급성 충수염은 응급 수술을 필요로 하는 급성 복증의 가장 흔한 질환이며, 급성 충수염이 의심되는 환자의 영상 진단 방법으로는 초음파검사와 조영증강 전산화단층촬영(computed tomography; 이하 CT)이 많이 이용되고 있다(1). 조영증강 CT는 급성 충수염을 진단하기에 가장 빠르고 정확한 검사로 알려져 있으며, 급성 복증의 감별 진단에도 도움이 된다(2-4). 또한 음성 충수절제술을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 비용 대비 효율이 높기 때문에(5), 급성 충수염이 의심되는 환자에서 일차적으로

많이 이용되고 있다(6). 하지만 환자들에 대한 방사선 피폭은 CT의 가장 큰 단점으로 환자들에 대한 방사선 피폭량이 증가되며(7, 8), 특히 급성 충수염이 잘 발생하는 젊은 연령대의 성인 환자들이나 소아 환자들의 경우 방사선 장애에 잠재력이 크다는 점에서 문제가 되겠다(9).

이러한 점을 극복하기 위하여 환자들에 대한 CT의 방사선량을 줄이기 위한 여러 방법들이 시도되었으며, 급성 충수염이 의심되는 환자에서 복부 CT 비조영증강 영상을 생략하고자 하는 시도 또한 그 일환 중의 하나이다(9-19). 하지만 복부 통증을 일으킬 수 있는 충수결석, 요로결석, 담석, 종양 내 석회화 등은 비

조영증강 영상에서 관찰이 용이하므로 비조영증강 영상의 진단적 역할이 크다고 할 수 있으며(20, 21), 경우에 따라서는 조영증강 CT만으로는 작은 석회화나 장관 내 급성 출혈 여부를 명확히 확인하기가 어려울 때도 있다. 특히 이전의 연구에 의하면 충수결석의 크기와 위치는 급성 충수염의 천공 혹은 수술 중 복강 내 유출 등 합병증과 연관되는 소견으로 알려져 있어 급성 충수염이 의심되는 환자에서 충수결석 등의 석회화의 존재를 확인하는 것은 중요하겠다(22, 23).

최근들어 CT 이중 에너지 촬영 기법을 이용한 가상 비조영증강 CT (virtual non-enhanced CT; 이하 VNE) 영상획득이 가능해졌으며, 따라서 환자의 방사선 피폭이 많은 복부 CT에서 방사선량 피폭을 감소시키고자 하는 일환으로 진성 비조영증강 CT (true non-enhanced CT; 이하 TNE) 영상을 VNE 영상으로 대체하려는 연구들이 있어 왔다(24-26). 하지만 아직까지 급성 충수염이 의심되는 환자군에서 이러한 연구는 시도된 바 없다.

따라서 본 연구의 목적은 우하복부 통증이 있어 임상적으로 급성 충수염이 의심되는 환자에서, 이중 에너지 CT를 이용하여

얻은 VNE 영상이 화질 및 진단 수행능력에서 TNE 영상을 대체할 수 있는지를 알아보고자 한다.

대상과 방법

환자군

2012년 1월부터 2012년 9월까지 우하복부 통증 등의 증상으로 급성 충수염이 의심되어 이중 에너지를 이용한 조영증강 CT와 비조영증강 CT를 찍은 환자들을 대상으로 하였다. 총 272명의 환자 중 병원 의료 정보 시스템상 급성 충수염으로 진단되지 않았으나 이후 다른 추적검사를 하지 않아 정확한 상병명을 알 수 없는 경우($n = 65$), 기계상의 오류로 VNE 영상의 재구성 불가능한 경우($n = 12$)를 제외하였다. 총 195명의 환자가 본 연구에 포함되었으며, 19~61세(평균 40.5세)의 연령분포를 보였다(Fig. 1). 이 중 123명의 환자에서 수술을 시행하였으며, 72명은 추적검사를 통하여 진단을 내렸다(Table 1).

CT 프로토콜

모든 CT는 이중 에너지 다중검출 CT 스캐너(Somatom Definition Flash; Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)를 사용하였다. 2개의 서로 다른 X-선 관을 스캐너의 갠트리에 94°로 장착하였으며, 하나의 검출기당 64구획씩 2개의 대응되는 128 절편을 얻었다. 관측시야(field of view)는 높은 관전압을 가지는 검출기 A는 50 cm로, 낮은 관전압을 가지는 다른 검출기 B는 33 cm로 설정하였다.

촬영 프로토콜은 비조영증강 CT 영상과 문맥기의 조영증강 CT 영상을 포함하는 2중기(dual phase)를 획득하였다. 모든 환자들은 양와위 자세로 횡경막 상방에서 치골 결합부까지 촬영하였다. CT 영상 획득 시 시행된 CT 매개 변수들은 Table 2에 정리하였다.

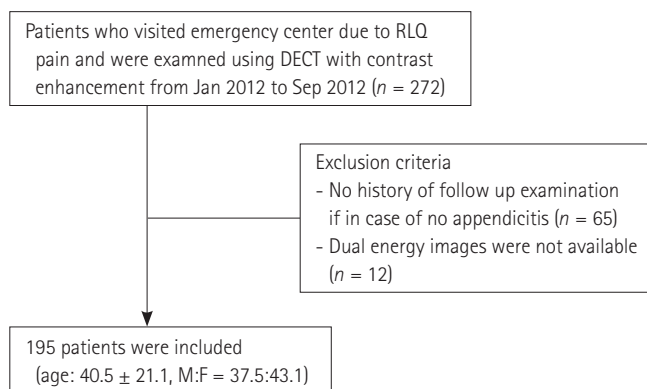


Fig. 1. A flow chart of enrollment of patients.

DECT = dual-energy computed tomography, RLQ = right lower quadrant

Table 1. Final Diagnosis of Patients

| Surgical Treatment Groups (n = 123) | | Follow Up Groups (n = 72) | |
|-------------------------------------|-----|-----------------------------|----|
| Acute appendicitis | 114 | Enterocolitis | 24 |
| Appendiceal tumor | 2 | Miscellaneous | 10 |
| Uterine leiomyoma | 2 | Urinary stone | 9 |
| Ovarian cyst | 1 | Diverticulitis | 4 |
| Acute cholecystitis | 1 | Mesenteric lymphadenitis | 5 |
| Chronic cholecystitis | 1 | Pelvic inflammatory disease | 5 |
| Ischemic enteritis | 1 | Complicated ovarian cyst | 3 |
| Duodenal ulcer perforation | 1 | Irritable bowel syndrome | 2 |
| | | Acute pyelonephritis | 2 |
| | | Periappendiceal abscess | 2 |
| | | Others* | 6 |

*Others including Crohn's disease, Leiomyoma, acute cholangitis, Henoch-Scheonlein purpura, appendiceal mucocele, obstructive ileus.

Table 2. CT Parameters

| | TNE | DE Portal | |
|-------------------------|-----------|------------|------------|
| | | Detector A | Detector B |
| Tube voltage (kVp) | 120 | 140 | 100 |
| Tube current (mAs) | 210 | 135 | 350 |
| Configuration (mm) | 128 × 0.6 | 64 × 0.6 | 64 × 0.6 |
| Pitch | 0.8 | 0.6 | 0.6 |
| Scanning delay time (s) | - | 100 | 100 |
| Rotation time (s) | 0.33 | 0.33 | 0.33 |

DE portal = dual energy portal phase image, TNE = true non-enhanced image

관전류는 online dose modulation (Care DOSE 4D; Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)에 근거한 기준에 따라 결정하였다. 비조영증강 CT는 관전압 120 kVp, 관전류 210 mAs에 조영증강 문맥기 CT는 조영제(2 mL/kg, Ultravist 370; Bayer Schering Pharma, Berlin, Germany) 주입 후 100초 후에 관전압 140 kVp, 관전류 135 mAs와 관전압 100 kVp, 관전류 350 mAs로 획득하였다.

이중 에너지 후처리와 영상 재구성

모든 CT 정보들은 독립된 워크스테이션(Syngo MultiModality Workplace Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)으로 전송하였다. 비조영증강 CT 영상은 5 mm 두께로 재구성하였다. 또한 조영증강 문맥기 CT 영상은 각각의 X-선관의 140 kVp와 100 kVp의 정보를 50%씩 혼합하여 5 mm 두께로 재구성하였다.

이중 에너지 기법으로 얻어진 CT 정보들은 이중 에너지 후처리 워크스테이션(Syngo MMWP, version 2008A; Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)으로 전송되었으며, VNE 영상은 간의 VNE CT 영상 프로토콜을 적용한 요오드 감산법을 통해 5 mm 두께로 재구성하였다.

정성분석

임상정보를 맹검처리한 후 두 명의 영상의학과 의사가 각각 한 달 간격으로 의료영상 저장 및 전송시스템(Star PACS, Infinitt, Seoul, Korea)을 이용하여 TNE 세트(TNE 영상과 문맥기 영상)와 VNE 세트(VNE 영상과 문맥기 영상)에서 급성 충수염의 유무와 다른 질환의 유무를 독립적으로 분석하였다. 모든 영상에서 창폭(window width)과 창고(window level)의 조절이 가능하도록 하였다. 급성 충수염에 대한 진단 기준은 다음과 같았다. 장벽의 두께(2 mm 이상), 강한 점막 조영증강, 내강 확장(6 mm 이상), 충수결석, 충수 주위 지방 침윤(3). 이를 바탕으로 급성 충수염에 대한 민감도, 특이도, 진단 정확도를 구

하였다. VNE 영상의 화질은 관찰자에 의하여 주관적으로 평가되었으며, 1점(TNE 영상과 비교하여 심한 잡음의 증가), 2점(TNE 영상과 비교하여 중증도 잡음의 증가), 3점(TNE 영상과 비교하여 경한 잡음의 증가), 4점(TNE 영상과 비교하여 잡음이 아주 적거나 없음)으로 평가하였다.

한 명의 영상의학과 의사가 VNE 영상의 인공물(artifact)을 주관적으로 평가하였으며, 1점(TNE 영상과 비교하여 심한 인공물이 있으며 정상 구조물을 평가할 수 없는 경우), 2점(TNE 영상과 비교하여 중증도의 인공물이 있으나 정상 구조물을 평가하기에 영향을 주는 경우), 3점(TNE 영상과 비교하여 아주 적은 인공물이 있으며 정상 구조물을 평가하는 데 제한을 주지 않는 경우), 4점(TNE 영상과 비교하여 인공물이 없음)으로 점수를 주어 평가하였다.

정량분석

의료 저장 및 전송시스템을 이용하여 한 명의 영상의학과 의사가 TNE와 VNE 영상에서 충수결석, 요로결석, 담석의 존재를 확인하고, 주변 조직과 경계가 뚜렷이 구분되는 충수결석, 요로결석, 담석의 크기와 감약계수(attenuation value)를 각각 측정하였다. 이때 크기는 축삭면 영상에서 가장 큰 직경을 기준으로 하였으며, 석회화의 감쇠를 측정하는 관심 영역은 석회화를 최대한 포함하도록 자유 재량(free hand)으로 측정하였고, 관심 영역의 크기는 0.4~9.1 cm²였다.

방사선량 분석

각각의 촬영마다 CT 농도 지표 용량(CT dose index volume)과 방사선 선적분선량(dose length product; 이하 DLP)을 기록하였다. 유효선량(effective radiation dose)은 DLP에 복부 CT의 전환계수인 0.015 mSv/mGycm을 곱하여 구하였다. 그리고 VNE 세트(VNE 영상과 문맥기 영상)와 TNE 세트(TNE 영상과 문맥기 영상)의 유효선량을 비교하였으며, 또한 이 두 가지의 세트의 유효선량 값의 백분율을 구하였다.

통계분석

정량적 변수와 유효선량은 평균 ± 표준편차로 표현하였다. 급성 충수염의 진단에 대한 정성적 변수의 비교와 관찰자 간 동의(interobserver agreement)의 평가를 위해 가중 카파 통계[Weighted kappa (κ) statistics]를 사용하였다. 모든 통계학적 방법은 SPSS software (SPSS 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 통하여 계산하였다. 유의확률(p value)은 0.05 미만을 통계적으로 의의가 있는 것으로 보았다.

Table 3. Diagnostic Value of Each Data Set for Detection of Acute Appendicitis

| | Data Set | Sensitivity | Specificity | PPV | NPV | Diagnostic Accuracy | AUC |
|--|----------|-------------|-------------|------|------|---------------------|-----------------------|
| Reader 1 | VNE + CE | 99.1 | 89.9 | 93.5 | 98.6 | 95.4 | 0.941 ($p = 0.021$) |
| | TNE + CE | 96.6 | 94.9 | 96.6 | 94.9 | 95.9 | 0.930 ($p = 0.021$) |
| Reader 2 | VNE + CE | 96.6 | 91.1 | 94.1 | 94.7 | 94.4 | 0.936 ($p = 0.021$) |
| | TNE + CE | 94.8 | 92.4 | 94.8 | 92.4 | 94.8 | 0.917 ($p = 0.023$) |
| Diagnostic performance btw VNE + CE and TNE + CE in reader 1 | | | | | | | $p = 1.000$ |
| Diagnostic performance btw VNE + CE and TNE + CE in reader 2 | | | | | | | $p = 1.000$ |
| Interobserver agreement between reader 1 and 2 in "VNE + CE" set | | | | | | | $\kappa = 0.873$ |

AUC = area under the curve, CE = contrast enhanced image, NPV = negative predictive value, PPV = positive predictive value, VNE = virtual non-enhanced image

결과

정성분석

VNE 세트 영상을 통한 두 명의 영상의학과의사의 급성 충수염에 대한 진단 정확도는 각각 95.4%와 94.4%로 측정되었으며, 진단에 관한 그래프 아래 면적(area under the curve)은 0.941과 0.936으로 측정되었다($p < 0.05$). TNE 세트 영상을 통한 급성 충수염에 대한 진단 정확도는 각각 95.9%와 94.8%로 측정되었으며, 진단에 관한 그래프 아래 면적은 0.930과 0.917로 측정되었다($p < 0.05$). 두 명의 영상의학과의사에서 모두 VNE 세트 영상과 TNE 세트 영상을 통한 진단 수행능력의 차이는 없었다($p = 1.000$). 두 명의 영상의학과의사에서 VNE 세트 영상에 대한 관찰자 간 동의는 카파값이 0.873으로 일치하고 있었다(Table 3). VNE 영상의 질은 영상학과 의사의 경우 평균값 및 표준편차가 3.61 ± 0.49 점, 영상학과 의사의 경우 3.83 ± 0.48 로 높게 산출되었다. VNE 영상의 인공물의 평균값 및 표준편차는 3.36 ± 0.51 점으로 산출되었으며, 발생한 인공물은 총 88개로, 줄 인공물(streaky artifact) ($n = 41$), 감산 인공물(subtraction artifact) ($n = 35$), 선 경화 인공물(beam hardening artifact) ($n = 12$)이 있었다(Table 4). 추가적으로 한 환자에서 VNE 영상에서 장내 조영제의 감산이 보여 조영제의 혈관 외 누출이 있음을 확인할 수 있었으며, 맹장의 급성 출혈을 진단할 수 있었다(Fig. 2).

정량분석

영상학과 의사의 1에 의해 VNE와 TNE 영상에서 발견된 충수결석은 각각 40, 43개, 요로결석은 8, 9개, 담석은 8, 10개였고 그 밖에 신장결석은 8, 14개, 간 석회화는 3, 4개, 복강 내 유리체(peritoneal loose body)는 4, 4개, 난소 기형종의 석회화는 2, 2개, 자궁근종의 석회화는 1, 1개였다(Figs. 3, 4). 충수결석, 담석, 요로결석의 평균 크기는 VNE와 TNE 영상에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 평균 감쇠는 충수결석과 요

Table 4. Analysis of Image Quality and Artifact of VNE Images

| | Quality* | | Artifact† |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Reader 1 | Reader 2 | Reader 1 |
| Mean grade | 3.61 ± 0.49 | 3.83 ± 0.48 | 3.36 ± 0.51 |

*Grade 1-4; 1 = poor, 2 = fair, 3 = good, 4 = excellent.

†Grade 1-4; 1 = severe, 2 = moderate, 3 = minimal, 4 = no artifact.

VNE = virtual non-enhanced image

로결석은 VNE 영상보다 TNE 영상에서 높은 경향을 보였으나 ($p < 0.05$), 담석의 평균 감쇠는 VNE 영상과 TNE 영상에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 5).

방사선량

방사선량은 VNE 세트에서 TNE 세트보다 총 48%의 방사선량의 감소가 있었다(Table 6).

고찰

급성 충수염을 CT로 진단하는 경우 이에 따른 방사선 피폭량을 줄이기 위해 여러 방법들이 고안되어 사용되고 있으며, 그중에 저선량 기법을 통하여 급성 충수염을 진단하는 방법(12, 13, 15, 16)이 많이 이용되고 있다. 하지만 이러한 경우 광자 결핍(photon starvation)에 의한 영상 화질의 감소로 인해 급성 충수염에 대한 진단이 잘못될 가능성이 있다(27). 최근에 많이 이용되고 있는 반복적 재구성(iterative reconstruction) 기법은 기존에 사용하였던 여과후 역투사(filtered back-projection) 기법보다 영상 잡음(noise)을 줄일 수 있지만 영상 재구성에 소요되는 시간이 기존의 여과후 역투사보다 오래 걸린다는 단점이 있다(10). 또 다른 방법으로 급성 충수염이 의심되는 환자에서 초점이 되는 우하복부로 z축 촬영 범위를 줄이는 방법이 있다. 이러한 방법은 급성 충수염을 진단하는 데는 적합하나(17, 18), 증상을 일으킬 수 있는 다른 질환들을 찾아내기엔 적합하지 않다(28).

이 외에도 급성 충수염의 진단을 위한 CT 촬영에서 비조영증

강 영상을 생략하여 방사선 피폭량을 줄이려는 시도가 있었으나(11), 이러한 경우에는 충수결석이나 요로결석 등 석회화 병변을 찾는 데 문제가 있을 수 있겠다. 충수결석의 유무는 급성 충수염의 진단에 필수적이지는 않지만 충수결석의 크기나 위치

가 급성 충수염의 합병증과 연관이 있으므로 수술적 치료 시 주의해야 한다(22, 29). 요로결석이 있는 환자의 16%가 급성 충수염과 비슷한 우하복부 통증을 호소한다는 점에서(30), 요로결석은 급성 충수염과 감별해야 할 질환이며, 비조영증강 CT

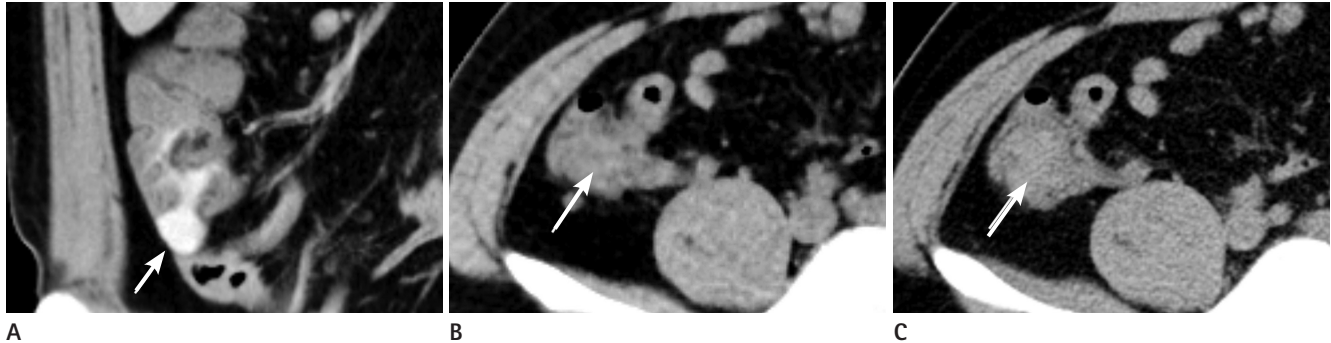


Fig. 2. A case with similarly detected cecal hemorrhage on both virtual non-enhanced (VNE) and true non-enhanced (TNE) images. A 28-year-old man presented with RLQ pain.

A. Coronal enhanced image shows markedly hyperattenuated fluid collection (arrow) in the cecum and the ascending colon.

B, C. It was subtracted and it presented as slight hyperattenuation on the VNE image (53 HU, arrow) (**B**) and also on the TNE image (51 HU, arrow) (**C**).

HU = Hounsfield unit, RLQ = right lower quadrant



Fig. 3. A case with a similarly detected appendicolith on both true non-enhanced (TNE) and virtual non-enhanced (VNE) images, but it was not well detected on the enhanced image. A 62-year-old male with acute appendicitis.

A, B. Axial VNE (**A**) and TNE (**B**) images show a 0.4 cm sized appendicolith (arrows), dilated bowel lumen and thickened wall of the appendix.

C. Enhanced axial image shows findings compatible with acute appendicitis, but an appendicolith can be mistaken for a small blood vessel (arrow).



Fig. 4. A case with a similarly detected right-sided urinary stone on both true non-enhanced (TNE) and virtual non-enhanced (VNE) images, but it was not well detected on the enhanced image. A 56-year-old man with a right-sided urinary stone.

A, B. Axial VNE (**A**) and TNE (**B**) images show a 0.3 cm sized right-sided urinary stone (arrows).

C. Enhanced axial image also shows a tiny hyperattenuated lesion adjacent to the right ureterovesical junction, but it can be mistaken for a small blood vessel (arrow).

Table 5. Quantitative Analysis of the Lesions Detected on Each Images

| | Appendicolith (n = 27) | | | Biliary Stone (n = 8) | | | Lower Ureteral Stone (n = 9) | | |
|-----------------------|------------------------|-------|---------|-----------------------|-------|---------|------------------------------|-------|---------|
| | VNE | TNE | p Value | VNE | TNE | p Value | VNE | TNE | p Value |
| Mean size (mm) | 7.73 | 8.50 | 0.093 | 9.5 | 9.75 | 0.17 | 3.1 | 3.5 | 0.08 |
| Mean attenuation (HU) | 128.4 | 208.6 | 0.001 | 91.6 | 131.5 | 0.127 | 114.7 | 199.5 | 0.004 |

HU = Hounsfield unit, TNE = true non-enhanced image, VNE = virtual non-enhanced image

Table 6. Radiation Dose Analysis

| | Total | TNE | Portal Phase | TNE × 100/Total |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Mean DLP (mGycm) | 879.01 ± 289.05 | 461.44 ± 149.31 | 422.09 ± 137.59 | 48% |
| Mean ERD (mSv) | 13.19 ± 4.33 | 6.33 ± 2.06 | 6.92 ± 2.24 | 48% |

DLP = dose length product, ERD = effective radiation dose, TNE = true non-enhanced image

는 이러한 요로결석의 진단에 매우 도움이 된다(20). 위와 같은 이점 때문에 아직도 많은 병원에서 급성 충수염이 의심되는 환자에서 비조영증강 CT를 시행하고 있다.

이중 에너지 CT는 다른 에너지 값을 가지는 두 개의 X선 관을 이용하여 두 개의 CT 영상을 획득한다. 이때 CT 조영제로 사용되는 요오드는 신체를 구성하는 다른 원소에 비하여 월등히 높은 K-edge값을 가지기 때문에, 촬영한 2개의 영상에서 다른 연부조직에 비해 큰 차이를 보이는 감쇠를 이용해 요오드 성분만을 구분해 낼 수 있다(31). 따라서 이러한 요오드 성분만을 선택적으로 제거하여 VNE 영상을 재구성할 수 있으며(32), 영상의 화질과 진단 수행능력에 문제가 없다면, VNE 영상으로 TNE 영상을 대체할 수 있기 때문에 전체적인 방사선량을 감소시킬 수 있다(33, 34). 본 연구에서는 VNE 세트 영상을 이용하여 급성 충수염을 진단하는 경우 TNE 세트 영상을 이용하는 경우보다 유효선량을 약 48% 정도 더 줄일 수 있었다. VNE 세트 영상을 이용한 급성 충수염의 진단에 대한 정확도 또한 두 명의 영상의학과에서 모두 95.4%, 94.4%로 비교적 높은 수치를 보였고, TNE 세트 영상을 이용할 때와 비슷한 수치를 보였으며 관찰자 간 동의 또한 높은 수치를 보였다. VNE 영상의 화질도 두 명의 영상의학과 의사 모두에서 판독하기에 적합한 정도였다.

본 연구에서 VNE 영상은 충수결석, 요로결석, 담석 등이 모두 TNE 영상에 비하여 낮은 감쇠를 보였으며, 크기 또한 TNE 영상에 비하여 더 작게 측정되었다. 이러한 현상은 VNE 영상을 재구성할 때 비록 요오드 성분만을 선택적으로 재구성하긴 하지만, 칼슘 성분도 약간의 차감이 일어나기 때문이다(31). 비록 TNE 영상에서 관찰되었던 87개의 석회화 중 크기가 작은 13개의 석회화는 VNE 영상에서는 발견되지 않았으나, 74개의 석회화는 VNE 영상에서도 감쇠가 최하 91 Hounsfield unit 이하로 측정되어, 실제로 판독을 할 때 결석이라고 인식할 수 있었다. TNE 영상에서 발견되었던 43개의 충수결석 중 40개가 VNE 영상에서도 발견되었으며, VNE와 TNE 영상에서 충수결

석의 크기는 통계학적으로 차이가 없었다. 그리고 TNE 영상에서 발견되었던 9개의 요로결석 중 8개가 VNE 영상에서도 발견되었으며, 많은 비뇨기와 의사들이 요로결석의 크기로 치료의 방향을 결정한다는 점에서 VNE 영상과 TNE 영상에서 요로결석의 크기 또한 통계학적으로 차이가 없다는 것은 의의가 있겠다(35). 크기가 작거나 감쇠가 낮은 석회화는 VNE 영상에서 잘 보이지 않으며, 이러한 발견되지 않는 석회화 때문에 요로결석의 진단에 제한이 있을 수 있으나, 이전의 연구와 같이 절편두께를 줄이면 석회화를 검출하는 데 도움이 된다(36). 이러한 점에서 급성 충수염이 의심되는 환자에서 복강 내 석회화를 평가하는 경우 VNE 영상은 TNE 영상으로 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

급성 위장관 출혈 환자에서 조영증강 CT만 시행하면 출혈이 있는 부위와 다른 장관 내 고음영 물질과의 감별이 어려워 이러한 경우 비조영증강 영상은 필수적이다. 본 연구에서도 한 환자에서 우하복부 통증으로 급성 충수염이 의심되었고 시행한 조영증강 CT에서 고음영을 보였던 부위가 VNE 영상에서 차감되어 조영제의 혈관 외 누출임을 확인할 수 있었고 맹장의 급성 출혈로 진단되었다. 이전의 연구에서도 이중 에너지를 이용한 CT의 VNE 영상과 TNE 영상에서 복강 내 출혈 병변을 평가할 때 양자 간에 큰 차이가 없었다(37, 38). 따라서 VNE 영상은 방사선량을 더 줄일 수 있으며, 출혈 여부를 확인할 수 있는 장점을 가진다. 하지만 이 분야에서의 VNE의 유효성 평가에 있어서는 좀 더 많은 환자의 증례가 필요하겠다.

인공물의 측면에서는 VNE 영상에서 TNE 영상에 비하여 인공물이 약간 더 많이 발생하였지만 정상 구조물을 평가하는 데 제한을 주지 않았다. 요추에서의 금속 나사, 대장의 바륨, 양쪽 팔이 관측시야에 포함되는 경우 등 몇몇의 증례들에서 좀 더 심한 인공물이 발생하였다. 하지만 급성 충수염의 진단은 주로 조영증강 CT를 이용하였고, VNE 세트 영상과 TNE 세트 영상을 비교하였을 때 충수 주변 부위는 이러한 인공물에 의하여 큰 영

향을 받지 않으므로 두 영상군 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 VNE 영상은 재구성할 때 추가적인 영상 획득 시간이 필요하다. 하지만 시간이 오래 걸리는 반복적 재구성법과는 달리, 본 연구에서는 영상 재구성과 정보 전송까지 약 3분의 시간이 필요했으며, 이는 실제 촬영을 할 때 큰 지장은 없을 것으로 판단된다(14).

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있는데, 첫째, 후향적으로 연구가 진행되었으며, 임상적으로 급성 충수염이 의심되었던 환자와 추적검사가 가능하였던 환자들만을 대상으로 하였다. 즉, 추적검사 결과가 없는 증례들은 모두 제외하여 표준선택편파(selection bias)가 발생할 수 있다. 둘째, TNE 세트 영상과 VNE 세트 영상을 평가한 시간의 간격이 한 달로 상대적으로 짧았다. 비록 평가한 시간의 간격이 짧긴 하였으나 환자의 증례가 총 195개였기 때문에 각각의 증례를 기억하여 진단에 영향을 주었을 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 셋째, 급성 충수염이 의심되어 CT를 시행하였으나 담석이나 요로결석으로 진단되는 경우가 있는데 이러한 질환들에서 VNE 영상의 유효성을 평가하기에는 담석과 요로결석의 증례가 너무 적었다. 비록 본 연구는 급성 충수염의 진단에서 VNE 영상을 이용하여 방사선량을 감소시키는 데 의의가 있지만, 담석과 요로결석의 증례가 적어서 통계학적인 의의나 신뢰도가 감소될 수 있다. 하지만 이전에 시행되었던 연구들과 같은 결과를 보여주고 있다는 점에서 의미가 있겠다. 넷째, TNE 영상과 VNE 영상을 직접 비교하지 않고, TNE 세트와 VNE 세트를 이용하여 간접적으로 비교를 하였다. 그러나 우하복부 통증이 있는 환자에서 조영증강 영상과 비조영증강 영상을 같이 획득하는 것이 필요하겠고, 본 연구에서는 조영증강 영상을 기본으로 이용하고, TNE 영상을 VNE 영상으로 대체하였을 때 급성 충수염의 진단 수행도에 변화가 있는지를 확인하고자 하였으며, 실제 결과는 큰 차이가 없었다. 또한 VNE 영상의 화질과 인공물도 TNE 영상과 비교하여 큰 차이가 없었다.

결론적으로 이중 에너지 CT를 이용하여 얻은 VNE 세트 영상은 TNE 세트 영상과 비교하여, 화질과 급성 충수염에 대한 진단 수행능력면에서 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 우하복부 통증이 있는 급성 충수염이 의심되는 환자에서 VNE 영상은 TNE 영상을 대체할 수 있어, 방사선에 대한 피폭을 효과적으로 줄일 수 있다.

Acknowledgments

This study was supported by Institute of Wonkwang Medical Science in 2015.

REFERENCES

1. Buckius MT, McGrath B, Monk J, Grim R, Bell T, Ahuja V. Changing epidemiology of acute appendicitis in the United States: study period 1993-2008. *J Surg Res* 2012;175:185-190
2. Pickhardt PJ, Lawrence EM, Pooler BD, Bruce RJ. Diagnostic performance of multidetector computed tomography for suspected acute appendicitis. *Ann Intern Med* 2011;154:789-796, W-291
3. Pooler BD, Lawrence EM, Pickhardt PJ. Alternative diagnoses to suspected appendicitis at CT. *Radiology* 2012;265:733-742
4. Raman SS, Lu DS, Kadell BM, Vodopich DJ, Sayre J, Cryer H. Accuracy of nonfocused helical CT for the diagnosis of acute appendicitis: a 5-year review. *AJR Am J Roentgenol* 2002;178:1319-1325
5. Krajewski S, Brown J, Phang PT, Raval M, Brown CJ. Impact of computed tomography of the abdomen on clinical outcomes in patients with acute right lower quadrant pain: a meta-analysis. *Can J Surg* 2011;54:43-53
6. Raja AS, Wright C, Sodickson AD, Zane RD, Schiff GD, Hanson R, et al. Negative appendectomy rate in the era of CT: an 18-year perspective. *Radiology* 2010;256:460-465
7. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007;357:2277-2284
8. Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, Bhargavan M, Lewis R, Mettler F, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med* 2009;169:2071-2077
9. Addiss DG, Shaffer N, Fowler BS, Tauxe RV. The epidemiology of appendicitis and appendectomy in the United States. *Am J Epidemiol* 1990;132:910-925
10. Kim SH, Yoon JH, Lee JH, Lim YJ, Kim OH, Ryu JH, et al. Low-dose CT for patients with clinically suspected acute appendicitis: optimal strength of sinogram affirmed iterative reconstruction for image quality and diagnostic performance. *Acta Radiol* 2015;56:899-907
11. Chiu YH, Chen JD, Wang SH, Tiu CM, How CK, Lai JI, et al. Whether intravenous contrast is necessary for CT diagnosis of acute appendicitis in adult ED patients? *Acad Radiol* 2013;

20:73-78

12. Kim SY, Lee KH, Kim K, Kim TY, Lee HS, Hwang SS, et al. Acute appendicitis in young adults: low- versus standard-radiation-dose contrast-enhanced abdominal CT for diagnosis. *Radiology* 2011;260:437-445
13. Seo H, Lee KH, Kim HJ, Kim K, Kang SB, Kim SY, et al. Diagnosis of acute appendicitis with sliding slab ray-sum interpretation of low-dose unenhanced CT and standard-dose i.v. contrast-enhanced CT scans. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 193:96-105
14. Kitagawa M, Kotani T, Miyamoto Y, Kuriu Y, Tsurudome H, Nishi H, et al. Noncontrast and contrast enhanced computed tomography for diagnosing acute appendicitis: a retrospective study for the usefulness. *J Radiol Case Rep* 2009;3: 26-33
15. Keyzer C, Cullus P, Tack D, De Maertelaer V, Bohy P, Geve-nois PA. MDCT for suspected acute appendicitis in adults: impact of oral and IV contrast media at standard-dose and simulated low-dose techniques. *AJR Am J Roentgenol* 2009; 193:1272-1281
16. Fefferman NR, Bomsztyk E, Yim AM, Rivera R, Amodio JB, Pinkney LP, et al. Appendicitis in children: low-dose CT with a phantom-based simulation technique--initial observa-tions. *Radiology* 2005;237:641-646
17. Fefferman NR, Roche KJ, Pinkney LP, Ambrosino MM, Ge-nieser NB. Suspected appendicitis in children: focused CT technique for evaluation. *Radiology* 2001;220:691-695
18. Rao PM, Rhea JT, Novelline RA, McCabe CJ, Lawrason JN, Berger DL, et al. Helical CT technique for the diagnosis of appendicitis: prospective evaluation of a focused appendix CT examination. *Radiology* 1997;202:139-144
19. Malone AJ Jr, Wolf CR, Malmel AS, Melliore BF. Diagnosis of acute appendicitis: value of unenhanced CT. *AJR Am J Roentgenol* 1993;160:763-766
20. Khan N, Anwar Z, Zafar AM, Ahmed F, Ather MH. A com-parison of non-contrast CT and intravenous urography in the diagnosis of urolithiasis and obstruction. *Afr J Urol* 2012; 18:108-111
21. Anderson SW, Lucey BC, Varghese JC, Soto JA. Accuracy of MDCT in the diagnosis of choledocholithiasis. *AJR Am J Roentgenol* 2006;187:174-180
22. Ishiyama M, Yanase F, Taketa T, Makidono A, Suzuki K, Omata F, et al. Significance of size and location of appendi-coliths as exacerbating factor of acute appendicitis. *Emerg Radiol* 2013;20:125-130
23. Tanaka Y, Uchida H, Kawashima H, Fujiogi M, Takazawa S, Deie K, et al. Long-term outcomes of operative versus non-operative treatment for uncomplicated appendicitis. *J Pe-diatr Surg* 2015;50:1893-1897
24. Fletcher JG, Takahashi N, Hartman R, Guimaraes L, Huprich JE, Hough DM, et al. Dual-energy and dual-source CT: is there a role in the abdomen and pelvis? *Radiol Clin North Am* 2009;47:41-57
25. Graser A, Johnson TR, Chandarana H, Macari M. Dual energy CT: preliminary observations and potential clinical applica-tions in the abdomen. *Eur Radiol* 2009;19:13-23
26. Song KD, Kim CK, Park BK, Kim B. Utility of iodine overlay technique and virtual unenhanced images for the charac-terization of renal masses by dual-energy CT. *AJR Am J Roentgenol* 2011;197:W1076-W1082
27. Paulson EK, Coursey CA. CT protocols for acute appendici-tis: time for change. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:1268-1271
28. Kamel IR, Goldberg SN, Keogan MT, Rosen MP, Raptopoulos V. Right lower quadrant pain and suspected appendicitis: nonfocused appendiceal CT--review of 100 cases. *Radiology* 2000;217:159-163
29. Singh AK, Hahn PF, Gervais D, Vijayraghavan G, Mueller PR. Dropped appendicolith: CT findings and implications for management. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190:707-711
30. Paajanen H, Tainio H, Laato M. A chance of misdiagnosis between acute appendicitis and renal colic. *Scand J Urol Nephrol* 1996;30:363-366
31. Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, Grasruck M, Bruder H, Morhard D, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol* 2007;17:1510-1517
32. Ascenti G, Siragusa C, Racchiusa S, Ielo I, Privitera G, Midili F, et al. Stone-targeted dual-energy CT: a new diagnostic ap-proach to urinary calculosis. *AJR Am J Roentgenol* 2010; 195:953-958
33. Im AL, Lee YH, Bang DH, Yoon KH, Park SH. Dual energy CT in patients with acute abdomen; is it possible for virtual non-enhanced images to replace true non-enhanced im-ages? *Emerg Radiol* 2013;20:475-483

34. Ho LM, Yoshizumi TT, Hurwitz LM, Nelson RC, Marin D, Toncheva G, et al. Dual energy versus single energy MDCT: measurement of radiation dose using adult abdominal imaging protocols. *Acad Radiol* 2009;16:1400-1407
35. Weld KJ, Montiglio C, Morris MS, Bush AC, Cespedes RD. Shock wave lithotripsy success for renal stones based on patient and stone computed tomography characteristics. *Urology* 2007;70:1043-1046; discussion 1046-1047
36. Mangold S, Thomas C, Fenchel M, Vuust M, Krauss B, Ketelsen D, et al. Virtual nonenhanced dual-energy CT urography with tin-filter technology: determinants of detection of urinary calculi in the renal collecting system. *Radiology* 2012;264:119-125
37. Phan CM, Yoo AJ, Hirsch JA, Nogueira RG, Gupta R. Differentiation of hemorrhage from iodinated contrast in different intracranial compartments using dual-energy head CT. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012;33:1088-1094
38. Ferda J, Novák M, Mirka H, Baxa J, Ferdová E, Bednářová A, et al. The assessment of intracranial bleeding with virtual unenhanced imaging by means of dual-energy CT angiography. *Eur Radiol* 2009;19:2518-2522

급성 충수염이 의심되는 환자에서 이중 에너지 전산화단층촬영을 통하여 얻은 가상 비조영증강 영상의 유용성

허태영 · 이영환* · 윤권하

목적: 급성 충수염이 의심되는 환자에서 이중 에너지 전산화단층촬영(dual-energy computed tomography; 이하 DECT) 으로부터 재구성한 가상 비조영증강(virtual non-enhanced; 이하 VNE) 영상이 진성 비조영증강(true non-enhanced; 이하 TNE) 영상을 대치할 수 있는지를 알아보고자 한다.

대상과 방법: 총 195명의 환자에게 DECT를 촬영하였다. 두 명의 영상의학과 의사가 VNE 세트(VNE와 문맥기 영상)와 TNE 세트(TNE와 문맥기 영상)를 각각 4주 간격으로 분석하였다. 각각의 세트의 급성 충수염의 진단에 대한 CT 영상의 민감도 및 특이도와 방사선량을 계산하였다. VNE 영상의 화질과 인공물은 TNE 영상과 비교하여 상대적인 4개의 점수(1 = 부족함~4 = 훌륭함)로 평가하였다. 각각의 영상에서 복강 내 석회화의 크기와 감쇠를 비교하였다.

결과: 수술을 통해 114명의 환자들이 급성 충수염으로 진단되었다. VNE 세트에서 민감도와 특이도는 두 명의 영상의학과 의사에서 각각 99.1%와 89.9%, 96.6%와 94.8%로 TNE 세트에서는 96.6%와 94.9%, 94.8%와 92.4%로 측정되었다. TNE 영상에서 보였던 87개의 석회화 중 74개는 VNE 영상에서도 보였다. VNE 영상의 화질과 인공물의 평균값은 각각 3.61과 3.83으로 측정되었다. TNE 영상을 생략함으로써 48%의 방사선량 감소가 있었다.

결론: VNE 영상의 화질과 진단 수행능력은 TNE와 비교하여 크게 차이가 나지 않았다. 따라서 TNE 영상을 VNE 영상으로 대치함으로써 급성 충수염의 진단에서 방사선량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

원광대학교병원 영상의학과